

Jurnal Ilmu Kehutanan

Journal of Forest Science
<https://jurnal.ugm.ac.id/jikfkt>



Prediksi Lebar Tajuk Pohon Dominan pada Pertanaman Jati Asal Kebun Benih Klon di Kesatuan Pemangkuan Hutan Ngawi, Jawa Timur

Predicting Crown-width of Dominant Trees on Teak Plantation from Clonal Seed Orchards in Ngawi Forest Management Unit, East Java

Ronggo Sadono

Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada

Jl. Agro No 1, Bulaksumur, Sleman 55281

*E-mail : rsadono@ugm.ac.id

HASIL PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (*received*): 7 September 2017

Diterima (*accepted*): 23 Januari 2018

KEYWORDS

crown radius measurement

quadratic mean crown radii

non-linear regression

model validation

Gompertz model

ABSTRACT

This study aims to determine the model of crown width development of the dominant teak tree planted using seeds from clonal seed orchards. The research was carried out in Ngawi Forest Management Unit on the good quality teak compartment having stands age from 6 to 15 years old. The good quality compartments were determined based on higher stand density, taller average tree height, larger average stem diameter, and good accessibility. In a well-qualified compartment, 30 samples of the dominant tree were selected and each sample was measured for the crown radius in the four radii. The measured crown radius was used to calculate average crown radius as a quadratic mean of 4-crown radii and crown width as double of average crown radius. The arithmetic mean of the crown width of the 30 dominant trees in each measured compartment was used as the response variable and stand age as the predictor variable. The measurement data were then sorted into two parts, namely: mostly for model fitting and the remaining for model validation. Non-linear regression analysis with the least squares method was used to evaluate 4 candidate models of average crown width, namely: Sigmoid, Power, Schumacher, and Gompertz models. The model selection was based on the highest coefficient of determination and the smallest standard error of the estimate and the significance of F test and T test. The best model was eventually validated using the following criteria : root mean squared error, aggregate deviation, and relative deviation. Gompertz model was the best model to predict the average crown width development of dominant teak tree and expressed as:

$$CW = 6.585 \times e^{-0.705 \times e^{-0.091 \times \text{age}}}$$

and able to explain 79% variation of data. The model was passed based on statistical validation and it was feasible for predicting the average of crown width of dominant teak tree from clonal seed orchards on good quality stand aged 6 to 15 years in Ngawi Forest Management Unit.

INTISARI

KATA KUNCI

pengukuran radius tajuk
rata-rata kuadrat 4 radius tajuk
regresi non-linear
validasi model
model Gompertz

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model perkembangan lebar tajuk pohon dominan jati asal Kebun Benih Klon pada tegakan berkualitas baik. Penelitian dilakukan di Kesatuan Pemangkuan Hutan Ngawi pada petak tanaman jati asal Kebun Benih Klon bertumbuhan baik pada umur 6-15 tahun. Petak tanaman bertumbuhan baik ditentukan berdasarkan kriteria persentase keberhasilan tanaman, rata-rata tinggi pohon dan rata-rata diameter batang serta aksesibilitasnya. Pada petak yang memenuhi syarat bertumbuhan baik dipilih sebanyak 30 sampel pohon dominan dan tiap sampel diukur radius tajuk pada empat arah mata angin. Hasil pengukuran radius tajuk digunakan untuk menghitung rata-rata radius tajuk sebagai rata-rata kuadrat 4 arah pengukuran radius tajuk dan lebar tajuk sebagai dua kali rata-rata radius tajuk. Rata-rata aritmatik dari lebar tajuk 30 pohon dominan tiap petak pengukuran digunakan sebagai variabel respons dan umur tegakan sebagai variabel prediktor. Data pengukuran selanjutnya dipilah menjadi dua bagian, yaitu sebagian besar untuk pengembangan model dan satu bagian lagi untuk validasi model. Analisis regresi non linear dengan metode kuadrat terkecil digunakan untuk memilih 4 kandidat model penduga rata-rata lebar tajuk, yaitu model Sigmoid, Power, Schumacher dan Gompertz. Pemilihan model didasarkan atas nilai koefisien determinasi tertinggi dan *standard error of the estimate* terkecil serta signifikansi uji F dan uji T. Akhirnya, model terbaik diuji kelayakannya dengan kriteria *root mean squared error*, simpangan agregatif dan simpangan relatif. Model Gompertz adalah model terbaik untuk memprediksi perkembangan rata-rata lebar tajuk pohon dominan, yang dapat dituliskan dengan persamaan:

$$CW = 6,585 \times e^{-0,705 \times e^{-0,091 \times \text{age}}}$$

dan dapat menjelaskan 79% variasi data. Model tersebut lolos validasi dan layak digunakan untuk memprediksi rata-rata lebar tajuk pohon dominan jati asal Kebun Benih Klon pada tegakan berkualitas baik umur 6 tahun sampai dengan umur 15 tahun di Kesatuan Pemangkuan Hutan Ngawi.

© Jurnal Ilmu Kehutanan-All rights reserved

Pendahuluan

Jati (*Tectona grandis* L.f) merupakan salah satu jenis kayu yang diusahakan oleh Perum Perhutani di sebagian besar hutan Pulau Jawa. Kayu jati banyak diminati karena memiliki kekuatan yang tinggi, keawetan alami, dan kualitas estetikanya (Pandey & Brown 2000) sehingga permintaan kayu jati terus meningkat (Mawardi 2012). Dalam upaya

meningkatkan produktivitas jati, Perum Perhutani mengembangkan program pemuliaan jenis jati dan menghasilkan klon unggul (Na'iem 2000) yang dikenal dengan nama Jati Plus Perhutani. Kayu jati unggul mempunyai perbedaan dengan kayu jati konvensional pada sifat mekanika kayu, yaitu nilai rata-rata yang lebih rendah pada kekuatan lengkung statis dan kekuatan tekan sejajar serat (Hidayati et al. 2016). Jati unggul yang berasal dari Kebun Benih Klon (KBK)

tersebut telah ditanam di beberapa wilayah kerja Perhutani (Anonim 2012), dan di setiap wilayahnya memiliki kualitas tapak yang berbeda-beda sehingga memungkinkan terjadinya pertumbuhan seumur yang tidak seragam. Terdapat berbagai macam kelas umur dan pola pertumbuhan pada tegakan jati membuat terbentuknya dinamika tegakan (Bermejo 2004).

Pengamatan terkait dinamika dan keberhasilan tanaman bisa dilihat dari pertumbuhannya. Pertumbuhan tanaman dapat diukur dari beberapa parameter yaitu diameter, tinggi, luas tajuk, volume, dan sebagainya (Bechtold 2003). Penyusun suatu tegakan seringkali terdapat pohon yang berukuran lebih besar atau dominan daripada pohon lainnya. Hal tersebut disebabkan adanya persaingan dalam menyerap sumberdaya dalam hal ini cahaya matahari, air dan nutrisi di dalam tanah untuk menunjang pertumbuhan pohon. Dampaknya bisa terlihat pada ukuran individu pohon tersebut yang berbeda seperti pada tinggi, diameter, luasan tajuk dibanding ukuran individu pohon lain di sekitarnya (Campoe et al. 2013).

Tajuk, terutama bagian yang terkena cahaya merupakan salah satu bagian pohon yang memiliki peran penting dalam pertumbuhan pohon sebagai tempat terjadinya proses utama fotosintesis (Cavalli & Finger 2016) dan merefleksikan hubungan yang erat dengan kesehatan pohon (Zarnoch et al. 2004). Hasil proses fotosintesis didistribusikan untuk pertumbuhan diameter batang maupun tinggi pohon, serta digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan dalam pengelolaan tegakan apakah dimensi diameter dan tinggi pohon tersebut masih sesuai dengan ruang tumbuh yang dibutuhkan (Pretzsch 2009). Dalam pengelolaan hutan, diameter tajuk dapat dimanfaatkan untuk mengukur kerapatan tegakan (Sharma et al. 2017). Kerapatan tegakan nantinya akan menentukan ruang tumbuh bagi pertumbuhan pohon disebabkan setiap pohon memiliki ruang tumbuh yang terbatas yakni dibatasi oleh pohon di sekitarnya (Pretzsch et al. 2015). Bentuk bawaan tajuk pohon dapat berubah ukuran dan bentuk oleh variasi umur,

tempat tumbuh, dan kondisi lingkungan (Sadono 2016). Dengan berkembangnya pohon dan pembentukan kanopi, perkembangan individu tajuk dipengaruhi oleh persaingan dan jarak tanam. Hal ini menjadi landasan klasifikasi kelas-kelas tajuk yaitu dominan dan non-dominan (Campoe et al. 2013).

Pohon yang dominan atau yang berukuran lebih besar memiliki kecepatan lebih dalam persaingan untuk menyerap dan mengambil sumberdaya daripada pohon non-dominan (Campoe et al. 2013). Kekuatan pohon untuk bersaing memperebutkan sumberdaya lingkungan diasumsikan sama dengan ukuran pohon tersebut. Pohon yang mempunyai ukuran lebih besar (dominan), tajuk yang luas dan akar yang lebih banyak diduga lebih mampu memperebutkan faktor lingkungan seperti cahaya, unsur hara, dan air (Sharma et al. 2016). Pohon dominan dan non-dominan merupakan komponen penting dari tegakan hutan tanaman seumur, sehingga diperlukan informasi tentang pertumbuhan dan perkembangannya karena pohon dominan merupakan penghasil kayu bernilai paling tinggi (Diamantopoulou & Milios 2010; Rahmadwiati et al. 2016).

Dimensi tajuk berperan penting di dalam meningkatkan estimasi biomassa pohon (Goodman et al. 2014) dan diperlukan sebagai indikator pertumbuhan dan untuk menjawab permasalahan mengenai penggunaan serta kebutuhan ruang tumbuh (Pretzsch et al. 2015). Ketersediaan ruang tumbuh yang paling baik dari suatu jenis pohon, dapat ditentukan dari dimensi lebar tajuknya (Sadono et al. 2016). Keberagaman pola pertumbuhan pohon akan menghasilkan tajuk yang beragam pula. Variabel penting dalam tajuk, seringkali ditunjukkan dalam panjang tajuk, rasio tajuk, ataupun lebar tajuk (Sharma et al. 2017). Dalam hal penggunaan dan kebutuhan ruang tumbuh, lebar tajuk memiliki peran yang cukup penting. Lebar tajuk dapat digunakan untuk memprediksi cahaya matahari yang terkena pohon maupun yang terhalang dan terintersepsi pada kanopi suatu tegakan (Fu et al. 2013), sehingga dapat digunakan untuk estimasi jumlah

sequestrasi karbon (Sharma et al. 2017). Lebar tajuk juga dapat menentukan tingkat persaingan antar pohon dalam tegakan, dimana pohon yang memiliki tajuk yang lebih lebar akan menyerap cahaya matahari lebih banyak dan cepat (Bechtold 2003). Kerapatan kanopi dari tegakan, yang berperan penting untuk menilai kesesuaian habitat satwa liar dan risiko kebakaran, juga dapat diestimasi dengan menggunakan model lebar tajuk (Sharma et al. 2016).

Secara individu pohon, lebar tajuk dapat menggambarkan persaingan antar individu pohon dan berpengaruh pada ketebalan cabang pohon, serta secara tidak langsung berpengaruh pada kualitas kayu dan nilai ekonomi pohon tersebut. Berdasarkan tingkat tegakan, lebar tajuk berfungsi untuk mengevaluasi penutupan kanopi, di mana di satu sisi digunakan sebagai ukuran kompetisi secara umum dan di sisi lain untuk ukuran penting kualitas suatu habitat (Condés et al. 2005). Lebar tajuk berkorelasi positif dengan pencapaian akar dalam memperoleh mineral dalam tanah. Tajuk pohon yang luas akan memperbesar proses fotosintesis yang terjadi pada pohon yang bersangkutan sehingga pertumbuhannya juga semakin cepat (Campoe et al. 2013). Selain itu, lebar tajuk dapat menjadi tolok ukur kemampuan bertahan hidup suatu pohon dan memungkinkan untuk memprediksi pertumbuhan, kematian, dan kandungan biomassa di atas tanah dari pohon tersebut (Fu et al. 2013). Pertumbuhan lebar tajuk memiliki peran untuk melakukan dan menentukan teknik pemangkasan cabang, penjarangan, serta mendukung dalam pengambilan keputusan terkait umur rotasi suatu jenis (Dong et al. 2016).

Penelitian tajuk terutama tentang prediksi lebar tajuk sebelumnya telah dilakukan dimana lebih fokus mencari model lebar tajuk berdasarkan diameter setinggi dada yaitu pohon dengan diameter yang besar akan memiliki tajuk yang luas (Meng et al. 2007). Penelitian tersebut mencari persamaan lebar tajuk untuk 12 jenis penting di Spanyol. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar ukuran diameter,

semakin besar pula ukuran lebar tajuk, dengan nilai yang signifikan dan nilai koefisien determinasi R^2 yaitu sebesar 0,430-0,684 (Condés et al. 2005). Kemudian, terdapat penelitian tentang penyusunan model lebar tajuk dengan *non linear effect model* pada jenis Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) menggunakan beberapa persamaan model di China bagian selatan. Hasil penelitian menunjukkan nilai yang signifikan dengan *root mean squared error* yang bernilai 0,463-0,763 (Fu et al. 2013). Selain itu, terdapat penelitian yang menyusun model lebar tajuk pada jenis Norway spruce (*Picea abies*) dan European beech (*Fagus sylvatica*) di Republik Ceko. Hasil penelitian menunjukkan hubungan signifikan antara lebar tajuk dan diameter setinggi dada dengan nilai R^2 yaitu 0,73 – 0,78 (Sharma et al. 2016). Beberapa penelitian terbaru pada tahun 2017 mengkonfirmasi hasil yang mirip dengan berbagai metode (Eby & Chuku 2017; Fu et al. 2017; Sharma et al. 2017). Penelitian ini fokusnya pada jenis jati unggul pohon dominan dan memodelkan lebar tajuknya dengan umur sebagai prediktor tunggal pada tegakan dengan kualitas baik. Tersedianya informasi lebar tajuk dapat digunakan untuk menentukan jumlah pohon tinggal per hektar yang diharapkan pada umur tertentu.

Bahan dan Metode

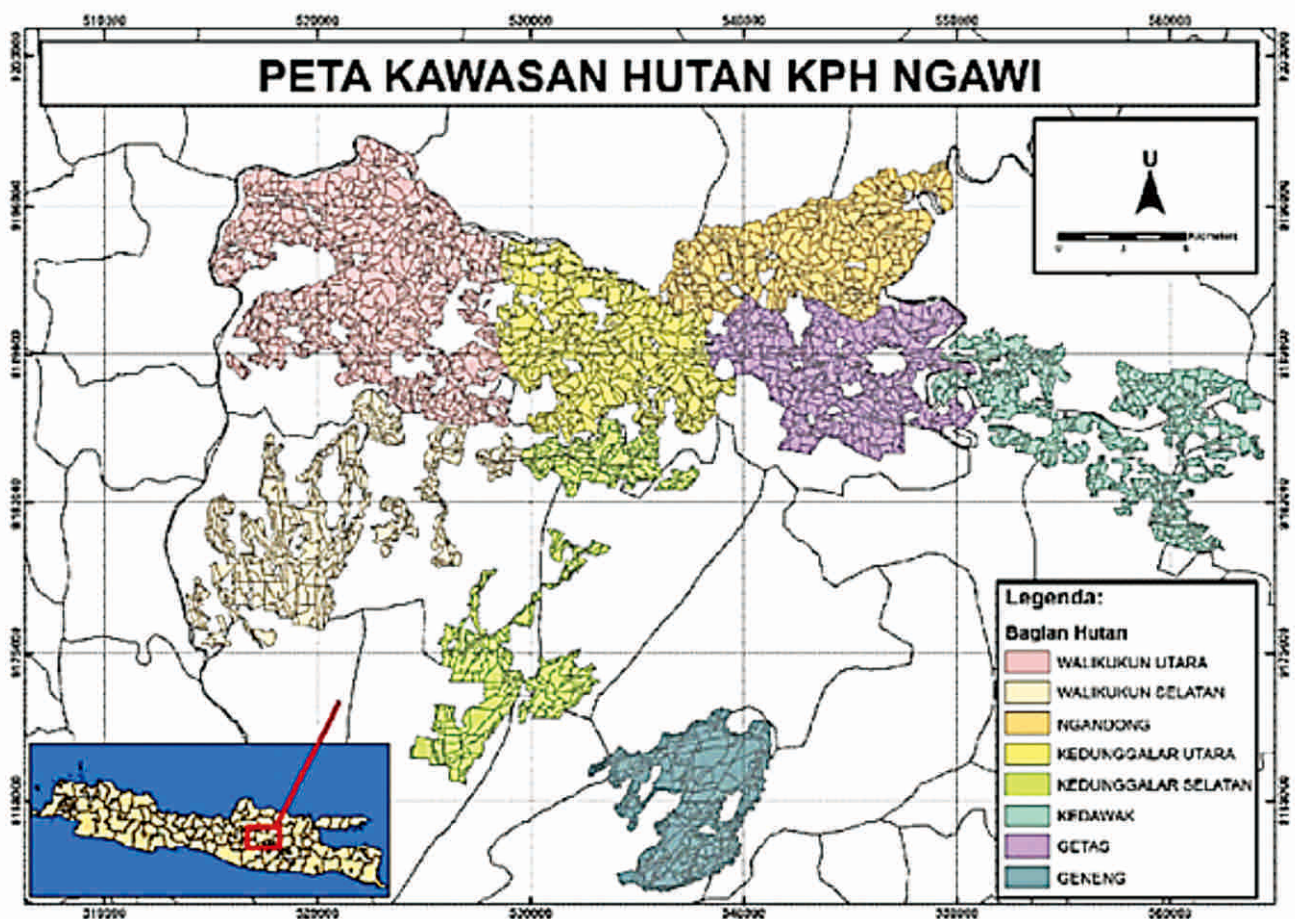
Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan di Perum Perhutani Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Ngawi, Divisi Regional Jawa Timur. Kawasan KPH Ngawi berada di Daerah Aliran Solo dengan ketinggian tempat 70 – 300 m dpl, curah hujan rata-rata tahunan sekitar 1800 mm, temperatur berkisar 22° C – 32°C dan memiliki tipe iklim C. Secara geografis, kawasan hutan terletak pada 7°24'26" - 7°31'00" LS, 110°25'40" - 111°40'00" BT, dan sebagian besar berada di Kabupaten Ngawi (Gambar 1). Penelitian dimulai tahun 2013 dan berlanjut sampai dengan tahun 2017 dengan tahapan seperti disajikan pada Gambar 2.

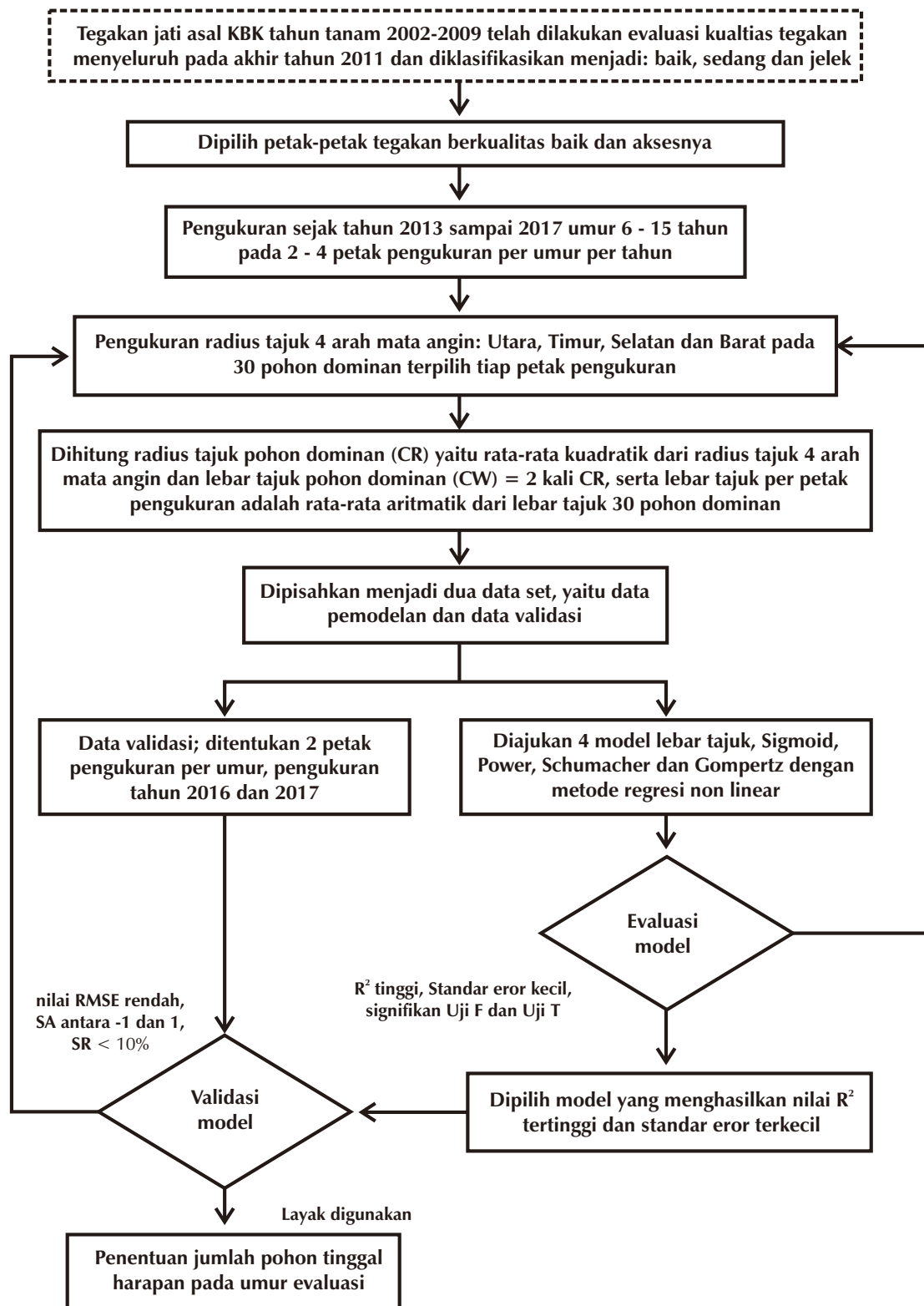
Pada kawasan hutan KPH Ngawi dipilih petak-petak tanaman jati asal Kebun Benih Klon (KBK) ber kriteria baik pertumbuhannya berdasarkan persen tumbuh $\geq 80\%$, tinggi pohon dan diameter batang di atas rata-rata. Pemilihan tegakan dengan kriteria tersebut mengacu pada tujuan dan manfaat yang hendak dicapai, yaitu membatasi penggunaan model. Hal tersebut didasarkan atas hasil penelitian terdahulu bahwa kualitas tegakan dan kualitas tapak berpengaruh terhadap dimensi tajuk dan pada akhirnya mempengaruhi model yang dapat digunakan untuk memprediksi dimensi tajuk (Sadono 2016; Dong et al. 2016). Di samping itu, tegakan berkualitas baik adalah harapan pembangunan hutan dan mempunyai peluang lebih besar untuk dipertahankan sampai

dengan umur daur dibandingkan dengan tegakan berkualitas sedang atau buruk. Selanjutnya dari petak-petak yang memenuhi kriteria tersebut dipilih petak-petak yang memiliki aksesibilitasnya baik sebagai petak pengukuran. Setiap umur tegakan dipilih sebanyak 2-4 petak tiap tahun pengukuran.

Jati asal KBK di KPH Ngawi ditanam secara rutin dengan sistem Tumpang Sari, jarak tanam 3 m x 3 m mulai tahun 2002 sampai dengan tahun 2009, sehingga umur tertua tanaman pada tahun 2017 adalah 15 tahun. Umur termuda yang ditetapkan adalah 6 tahun dengan pertimbangan bahwa pada umur tersebut sudah terbentuk tajuk yang memungkinkan untuk dilakukan pengukuran radius tajuk. Pada rentang umur tersebut dijumpai jumlah pohon tinggal aktual



Gambar 1. Lokasi penelitian berada di bagian barat Propinsi Jawa Timur dan berbatasan dengan Propinsi Jawa Tengah
Figure 1. Research location is in the western part of East Java Province and adjacent to Central Java Province



Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian prediksi lebar tajuk pohon dominan
Figure 2. Flow-chart of research sequence for predicting crown width of dominant trees

tidak sesuai dengan jumlah pohon tinggal saat penanaman, namun tidak tersedia informasi detail dan akurat mengenai kapan dan bagaimana terjadinya pengurangan jumlah pohon tersebut. Petak tanaman jati asal KBK terpilih sebagai petak pengukuran dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2017 dipisahkan

menjadi dua set data, yaitu satu set data untuk pemodelan (Tabel 1) dan satu set data lainnya untuk validasi model yang pengukurannya dilakukan pada tahun 2016 dan tahun 2017 (Tabel 2). Lokasi petak terpilih, baik untuk pemodelan maupun validasi disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1. Daftar petak tanaman jati asal Kebun Benih Klon terpilih sebagai petak pengukuran dari tahun 2013 sampai 2017 untuk pemodelan

Table 1. List of teak plantation compartments from clonal seed orchards selected for measurement from 2013 to 2017 for model fitting

Tahun Pengukuran	Umur (Tahun)	BKPH	RPH	Petak/Anak Petak	Tahun Tanam	Luas (ha)
2013	6	Kedunggalar	Sidolaju	53b	2007	9,0
	6	Kedunggalar	Sidolaju	54c	2007	5,9
	6	Kedunggalar	Sidolaju	56k	2007	8,3
	7	Kedunggalar	Sidolaju	44d	2006	6,4
	7	Kedunggalar	Sidowayah	44a	2006	3,0
	7	Kedunggalar	Sidowayah	47g	2006	6,2
	8	Watutinatah	Watutinatah	103a	2005	6,3
	9	Pandean	Komplang	151g	2004	6,6
	9	Payak	Payak	3i	2004	2,7
	10	Pandean	Komplang	151h	2003	9,6
2014	7	Kedunggalar	Kedung Galar	50b	2007	2,9
	7	Walikukun	Walikukun	3c	2007	3,5
	7	Kedunggalar	Kedung Galar	51d	2007	2,5
	8	Walikukun	Walikukun	7b	2006	7,7
	8	Walikukun	Walikukun	4b	2006	6,3
	8	Walikukun	Walikukun	4h	2006	5,7
	11	Komplang	Komplang	151g	2004	6,6
	11	Payak	Payak	3i	2004	2,7
	11	Komplang	Komplang	151h	2003	9,6
	12	Komplang	Komplang	156b	2002	3,5
2015	7	Pandean	Alastuwo	174k	2008	5,7
	7	Walikukun	Gendigan	73c	2008	2,9
	8	Kedunggalar	Sidowayah	45b	2007	6,0
	8	Kedunggalar	Sidowayah	48f	2007	5,0
	9	Kedunggalar	Sidowayah	49d	2006	2,0
	9	Kedunggalar	Sidowayah	47h	2006	4,7
	9	Kedunggalar	Sidowayah	65g	2006	1,8
	9	Kedunggalar	Sidowayah	65h2	2006	3,2
	10	Walikukun	Gendingan	22h	2005	10,4
	10	Pandean	Komplang	143a	2005	8,4
	10	Pandean	Kebonwaru	135e	2005	3,1
	10	Pandean	Alastuwo	175g	2005	3,5
	11	Walikukun	Gendingan	2b	2004	4,8
	12	Pandean	Tlogo	167e	2003	2,0
	12	Walikukun	Gendingan	72b	2003	10,4
	13	Kedunggalar	Sidowayah	45a	2002	13,0
	13	Kedunggalar	Sidowayah	52d	2002	3,3
	13	Kedunggalar	Sidowayah	47a	2002	2,0

Tabel 1. Lanjutan
Table 1. Continued

Tahun Pengukuran	Umur (Tahun)	BKPH	RPH	Petak/Anak Petak	Tahun Tanam	Luas (ha)
2016	6	Pandean	Kebonwaru	138b	2010	6,2
	7	Kedunggalar	Sidolaju	54k	2009	3,7
	8	Begal	Begal	39f	2008	6,2
	9	Kedunggalar	Sidolaju	56k	2007	8,3
	10	Kedunggalar	Sidowayah	47k	2006	4,0
	11	Pandean	Kebonwaru	143a	2005	8,4
	12	Kedunggalar	Sidowayah	65i	2004	4,2
	13	Walikukun	Gendingan	72b	2003	8,3
	14	Kedunggalar	Sidowayah	45d	2002	5,4
2017	14	Kedunggalar	Sidowayah	45c	2002	19,1
	7	Payak	Butuh	6d	2010	11,1
	7	Payak	Butuh	4b	2010	1,5
	8	Walikukun	Kenteng	18a	2009	6,1
	8	Kedunggalar	Sidolaju	57b	2009	9,8
	9	Kedunggalar	Wates	7a	2008	8,0
	9	Kedunggalar	Wates	8a1	2008	9,0
	10	Kedunggalar	Sidolaju	64e	2007	7,8
	10	Kedunggalar	Sidowayah	65e2	2007	14,5
	11	Kedunggalar	Sidowayah	47k2	2006	6,2
	11	Kedunggalar	Sidowayah	49c	2006	2,0
	12	Pandean	Kebonwaru	135f	2005	15,3
	12	Pandean	Kebonwaru	143a1	2005	8,4
	13	Kedunggalar	Sidowayah	65h1	2004	11,5
	13	Kedunggalar	Sidolaju	65g	2004	3,9
	14	Kedunggalar	Sidolaju	65b	2003	9,6
	14	Pandean	Kebonwaru	143d	2003	5,9
	15	Kedunggalar	Sidowayah	47a2	2002	11,2
	15	Kedunggalar	Sidowayah	44c	2002	5,4

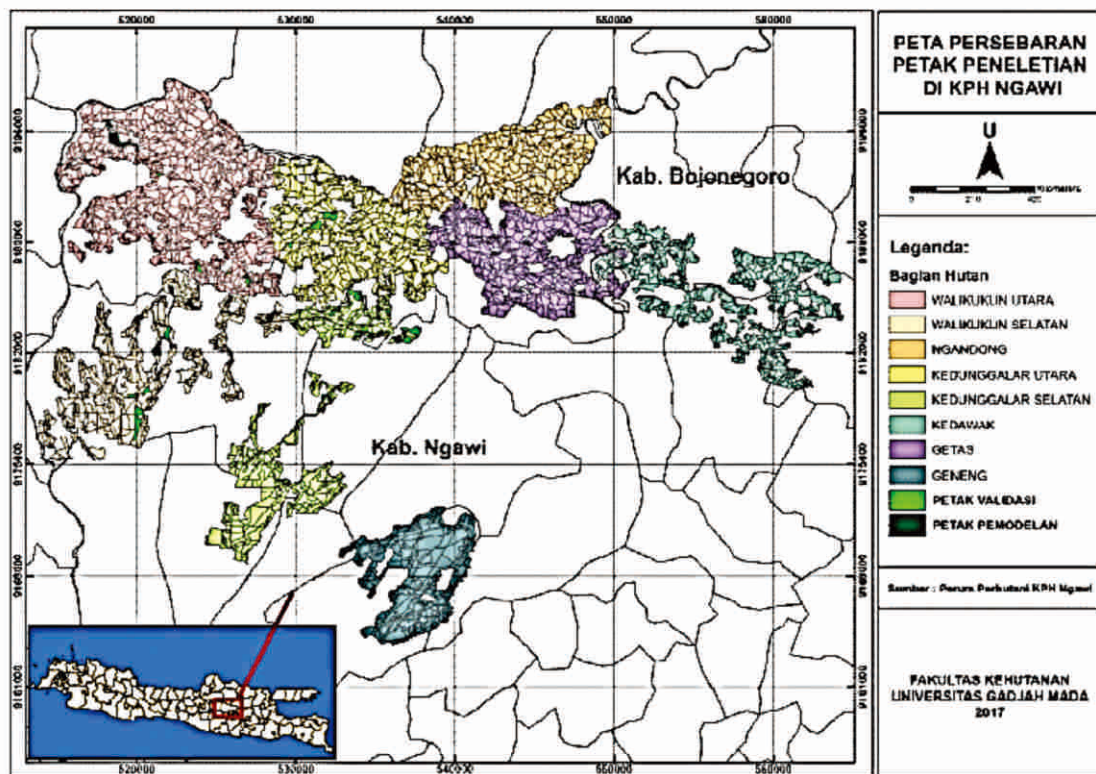
Tabel 2. Daftar petak tanaman jati asal Kebun Benih Klon terpilih sebagai petak pengukuran dari tahun 2016 sampai 2017 untuk validasi model

Table 2. List of teak plantation compartments from clonal seed orchards selected for measurement from 2016 to 2017 for model validation

Tahun Pengukuran	Umur (Tahun)	BKPH	RPH	Petak/Anak Petak	Tahun Tanam	Luas (Ha)
2016	6	Begal	Begal	40h	2010	5,7
	7	Walikukun	Benyubiru	52a	2009	5,0
	7	Walikukun	Banyuniru	53a	2009	3,5
	8	Walikukun	Kenteng	9f	2008	4,7
	8	Walikukun	Kenteng	10m	2008	2,9
	9	Kedunggalar	Sidolaju	53b2	2007	3,8
	9	Kedunggalar	Sidolaju	54c	2007	5,9
	10	Kedunggalar	Sidowayah	44a	2006	19,1
	10	Kedunggalar	Sidowayah	47h	2006	6,2
	11	Walikukun	Kenteng	22h	2005	10,4
	11	Pandean	Kebonwaru	135f	2005	15,3
	12	Walikukun	Gendingan	2b	2004	4,8
	12	Kedunggalar	Sidowayah	65h	2004	11,5
	13	Walikukun	Banyubiru	54m	2003	13,7
	13	Kedunggalar	Sidowayah	65b	2003	9,6
	14	Kedunggalar	Sidowayah	54m	2002	13,7
	14	Kedunggalar	Sidowayah	44c	2002	5,4
	14	Kedunggalar	Sidowayah	47a	2002	2,0

Tabel2. Lanjutan
Table2. Continued

Tahun Pengukuran	Umur (Tahun)	BKPH	RPH	Petak/Anak Petak	Tahun Tanam	Luas (Ha)
2017	7	Payak	Butuh	4d	2010	12,0
	7	Payak	Butuh	2b	2010	5,2
	8	Kedunggalar	Sidolaju	58h	2009	4,0
	8	Walikukun	Kentang	16d	2009	3,7
	9	Pandean	Pandean	80e	2008	5,1
	9	Pandean	Pandean	87a1	2008	1,5
	10	Kedunggalar	Sidowayah	48f	2007	13,6
	10	Kedunggalar	Sidowayah	44i	2007	1,7
	11	Kedunggalar	Sidowayah	49d	2006	4,0
	11	Kedunggalar	Sidowayah	47h1	2006	3,5
	12	Watutinatah	Watutinatah	103a	2005	6,3
	12	Pandean	Pandean	136e2	2005	1,2
	13	Payak	Payak	61e	2004	14,5
	13	Payak	Payak	31z	2004	2,7
	14	Watutinatah	Watutinatah	53b	2003	21,9
	14	Watutinatah	Watutinatah	54c1	2003	35,1
	15	Kedunggalar	Sidowayah	44a	2002	19,1
	15	Kedunggalar	Sidowayah	45d	2002	2,0



Gambar 3. Lokasi petak petak terpilih baik untuk pemodelan maupun validasi
Figure 3. Location of selected compartments for both model fitting and validation

Penentuan sampel dan pengumpulan data

Pada petak pengukuran dilakukan pemilihan sampel sebanyak 30 pohon dominan. Pemilihan pohon dominan dimaksudkan untuk mengeliminasi

kompetisi disebabkan dimensi tajuk dipengaruhi oleh tingkat kompetisi antar individu pohon (Fu et al. 2013; Sharma et al. 2017). Penentuan pohon dominan didasarkan pada kenampakan visual, yaitu ukuran

tinggi pohon yang lebih tinggi dan diameter batang yang lebih besar dari pohon-pohon sekitarnya serta berkualitas baik dengan ciri batang lurus, silindris, tinggi bebas cabangnya tinggi serta sehat dari kenampakan tajuknya yang masih hijau.

Tajuk masing-masing pohon dominan diukur radius tajuknya, yang dilakukan dengan rol meter dari pusat batang sampai pada proyeksi tajuk terluar (Goodman et al. 2014; Sharma et al. 2016). Radius tajuk diukur dari empat arah (Zuhaidi 2013; Sadono et al. 2015) sesuai empat arah mata angin (Fu et al. 2017). Rata-rata radius tajuk masing-masing pohon sampel dihitung berdasarkan rata-rata kuadrat dari hasil pengukuran empat arah radius tajuk (Pretzsch et al. 2015). Penerapan rata-rata kuadrat diarahkan untuk perhitungan luas proyeksi tajuk yang berhubungan dengan kebutuhan ruang tumbuh suatu pohon (Sadono et al. 2016). Selanjutnya dihitung lebar tajuk masing-masing pohon dominan, yaitu dua kali dari rata-rata radius tajuk. Nilai rata-rata lebar tajuk untuk tiap petak pengukuran diperoleh dari rata-rata aritmatik lebar tajuk 30 pohon dominan.

Analisis data

Rata-rata lebar tajuk diperlakukan sebagai variabel respons dan diprediksi menggunakan variabel bebas berupa umur tegakan. Sigmoidal model dipilih untuk menggambarkan perilaku rata-rata lebar tajuk terhadap umur (Fu et al. 2017). Parameterisasi sigmoidal model dilakukan dengan analisis regresi non-linear (Eby et al. 2017) menggunakan *software* SPSS ver 22. Prediktor yang digunakan adalah umur tegakan sebagai variabel bebas tunggal dengan asumsi bahwa variabel lain mempunyai hubungan yang erat dengan umur tegakan (Sadono et al. 2016).

Empat model berikut diajukan sebagai model kandidat untuk memprediksi rata-rata lebar tajuk,

yaitu : Sigmoid, Power, Schumacher, dan Gompertz. Tiga model yang lain diajukan sebagai alternatif peningkatan kecocokan model berdasarkan perilaku data yang mendekati perilaku model Sigmoid (Burkhart & Tomé 2012). Pemilihan model kandidat ditentukan berdasarkan kriteria nilai koefisien determinasi yang paling tinggi dan nilai *standard error* paling kecil apabila semua kandidat model memenuhi kriteria signifikansi uji F dan uji T (Bermejo et al. 2004). Model kandidat yang memenuhi syarat tersebut selanjutnya diuji kelayakannya dengan data validasi berdasarkan kriteria *root mean squared error* yang kecil (Dong et al. 2016; Fu et al. 2017; Sharma et al. 2017). Kriteria berikutnya adalah nilai simpangan agregatifnya berkisar antara -1 dan 1, dan nilai simpangan relatifnya tidak lebih dari 10% (Spurr 1952).

Hasil dan Pembahasan

Model perkembangan rata-rata lebar tajuk

Perkembangan rata-rata lebar tajuk pohon dominan jati asal KBK di KPH Ngawi menunjukkan penambahan secara kontinyu selama periode pengamatan dari umur 6 sampai dengan 15 tahun, baik pada data pemodelan maupun data validasi (Tabel 3 dan Tabel 4). Perkembangan ke arah lateral secara kontinyu mencerminkan bahwa pemilihan pohon dominan sesuai dengan yang diharapkan (Diamantopoulou et al. 2010; Campoe et al. 2013). Grafik perkembangan tersebut mengikuti bentuk umum sigmoidal (Gambar 4) dan analog dengan perkembangan luas proyeksi tajuknya (Sadono et al. 2016). Pemilihan model pada keluarga sigmoidal diprioritaskan pada 4 model, yaitu model Sigmoid, Power, Schumacher, dan Gompertz (Burkhart & Tomé 2012).

Tabel 3. Statistik deskriptif lebar tajuk tanaman jati asal Kebun Benih Klon data pemodelan umur 6 sampai dengan 15 tahun.

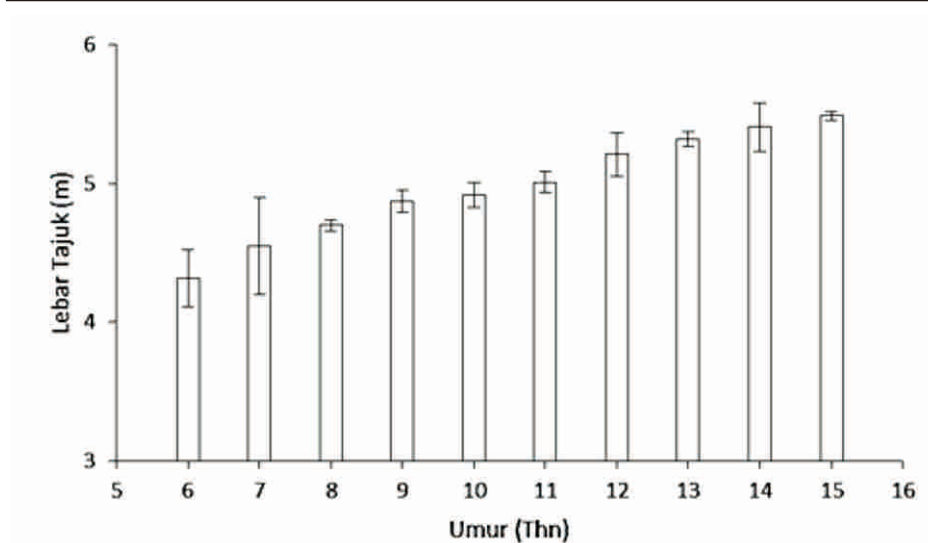
Table 3. Descriptive statistics of crown width of teak plantation from Clonal Seed Orchards of model fitting data aged 6 to 15 years.

Umur (tahun)	Jumlah petak pengukuran	Lebar tajuk (m)			
		Rata-rata	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
6	4	4,32	0,2075	4,09	4,49
7	11	4,55	0,3477	4,12	5,15
8	9	4,70	0,0429	4,63	5,76
9	9	4,87	0,0809	4,78	4,99
10	10	4,92	0,0892	4,79	5,05
11	6	5,01	0,0766	4,93	5,13
12	6	5,21	0,1571	4,93	5,35
13	7	5,32	0,0523	5,24	5,38
14	4	5,41	0,1739	5,34	5,45
15	2	5,49	0,0326	5,47	5,52

Tabel 4. Statistik deskriptif lebar tajuk tanaman jati asal Kebun Benih Klon data validasi model umur 6 sampai dengan 15 tahun

Table 4. Descriptive statistics of crown width of teak plantation from Clonal Seed Orchards of model validation data aged 6 to 15 years

Umur (tahun)	Jumlah petak pengukuran	Lebar tajuk (m)			
		Rata-rata	Sta. Deviasi	Minimum	Maksimum
6	1	4,32	0,2075	4,09	4,49
7	4	4,55	0,3477	4,12	5,15
8	4	4,70	0,0429	4,63	5,76
9	4	4,87	0,0809	4,78	4,99
10	4	4,92	0,0892	4,79	5,05
11	4	5,01	0,0766	4,93	5,13
12	4	5,21	0,1571	4,93	5,35
13	4	5,32	0,0523	5,24	5,38
14	5	5,41	0,1739	5,34	5,45
15	2	5,49	0,0326	5,47	5,52



Gambar 4. Rata-rata lebar tajuk dan standar deviasi pohon dominan data pemodelan umur 6 sampai umur 15 tahun
Figure 4. Average and standard deviation of crown width of dominant trees data for model fitting aged 6 to 15 years

Tabel 5. Evaluasi kandidat model penduga rata-rata lebar tajuk (CW) berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), standar error, dan signifikansi uji F dan uji T

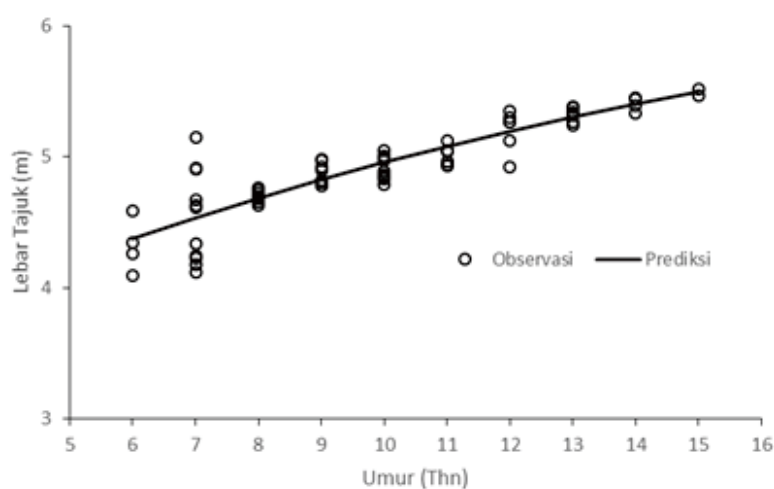
Table 5. Evaluation of candidate model for predicting crown width (CW) based on coefficient of determination (R^2), error standard, and significance of F test and T test

Model	Persamaan	R^2	R_{adj}^2	Std.Error	Sig. F	Sig. T
Sigmoid	$CW = e^{1,841 + \frac{-2,329}{umur}}$	0,769	0,766	0,036	0,000	0,000
Power	$CW = 2,756 \times (umur)^{0,255}$	0,780	0,777	0,035	0,000	0,000
Schumacher	$CW = 6,313 \times e^{\frac{-2,343}{umur}}$	0,782	0,778	0,028	0,000	0,000
Gompertz	$CW = 6,585 \times e^{-0,705 \times e^{-0,091 \times umur}}$	0,794	0,791	0,026	0,000	0,000

Informasi tentang pertumbuhan lebar tajuk sangat diperlukan dalam penyusunan perencanaan pengelolaan hutan, misalnya untuk evaluasi kompetisi di antara pepohonan (Dong et al. 2016) tepatnya pada pengaturan ruang tumbuh dan tindakan penjarangan untuk diperoleh hasil hutan yang diharapkan di masa yang akan datang. Pendugaan dimensi tajuk dapat diduga melalui model atau persamaan dengan menggunakan analisis regresi non-linear sederhana dengan prediktor tunggal yaitu umur tegakan (Sadono 2015). Hasil analisis regresi non linear sederhana terhadap 4 kandidat model yang digunakan untuk menggambarkan perkembangan lebar tajuk, kesemuanya menunjukkan signifikan pada uji F untuk keberartian model dan juga signifikan pada uji T untuk koefisien regresinya. Keseluruhan model dapat

diterima untuk menggambarkan perkembangan rata-rata lebar tajuk dengan tingkat kecocokan tinggi berkisar antara 76,9% sampai 79,4%, dan nilai *standard error* berada pada rentang 0,026- 0,036. Model Gompertz adalah model terbaik dengan nilai kecocokan tertinggi, yaitu berturut-turut 79,4% dan 79,1% untuk nilai R^2 dan R_{adj}^2 dan *standard error* terkecil, yaitu 0,026. Urutan berikutnya adalah model Schumacher, diikuti berturut-turut model Power dan model Sigmoid (Tabel 5).

Evaluasi model Gompertz terhadap data validasi menunjukkan bahwa nilai prediksi dengan nilai observasi tidak berbeda jauh (Gambar 5) dengan nilai RMSE sebesar 0,264 m (Tabel 6). Berdasarkan kriteria simpangan agregatif dan simpangan relatif, keduanya berada pada rentang yang dipersyaratkan, yaitu



Gambar 5. Evaluasi model Gompertz terhadap data validasi untuk kelayakan penggunaan model
Figure 5. Evaluation of Gompertz model against validation data for feasibility of model use

Tabel 6. Nilai kriteria uji kelayakan model Gompertz untuk diajukan sebagai model prediksi rata-rata lebar tajuk pohon dominan tanaman jati asal Kebun Benih Klon pada tegakan berkualitas baik

Table 6. Criteria values of feasibility test of Gompertz model to be proposed for predicting crown width of dominant trees of teak plantation from Clonal Seed Orchards on good quality stand

Kriteria validasi	Kriteria nilai	Jumlah pengamatan	Nilai validasi
Root Mean Squared Error (RMSE)	kecil	36	0,264 m
Simpangan Agregatif (SA)	± 1	36	-0,0122
Simpangan Relatif (SR)	< 10%	36	1,08%

masing-masing sebesar -0,0122 dari -1 untuk simpangan agregatif dan simpangan relatifnya sebesar 1,08% dari 10% (Tabel 6). Hasil ini mengindikasikan bahwa model Gompertz layak digunakan untuk memprediksi rata-rata lebar tajuk pohon dominan jati asal KBK umur 6 tahun sampai dengan umur 15 tahun.

Peran model rata-rata lebar tajuk

Tajuk sering digunakan untuk mengevaluasi kondisi tegakan dan menjadi indikator yang penting dalam suatu tegakan, misalnya untuk estimasi penutupan tajuk, faktor kompetisi tajuk dan bahkan untuk produktivitas tapak (Meng et al. 2007). Ukuran lebar tajuk adalah salah satu ciri yang paling mempengaruhi pertumbuhan pohon ke arah radial karena lebar tajuk mendeskripsikan kerapatan tegakan dan kompetisi individu pohon (Condés & Sterba 2005). Manfaat diketahuinya model perkembangan lebar tajuk pada tegakan adalah untuk penentuan kebutuhan ruang tumbuh yang diperlukan tiap individu pohon

(Sadono et al. 2016). Lebar tajuk dan kebutuhan ruang tumbuh dapat digunakan untuk menentukan jumlah pohon referensi tiap hektarnya sesuai dengan skema jarak antar pohon, yaitu segiempat atau segienam (Pretzsch 2009; Rahmadwiati et al. 2015). Prediksi jumlah pohon jati asal KBK per hektar (Tabel 7) dapat digunakan dalam penentuan tindakan silvikultur yang tepat untuk mengatur kerapatan dan jumlah pohon dalam tegakan (Pretzsch 2009).

Jumlah pohon tinggal per hektar yang diharapkan dapat dijadikan referensi dalam melakukan tindakan penjarangan dan kapan waktu dilakukan penjarangan, yang bertujuan untuk mengatur kerapatan antar individu dalam tegakan (Bermejo et al. 2004; Rahmadwiati et al. 2016; Budiadi et al. 2017). Jenis penjarangan yang dilakukan mengacu pada tujuan yang ditentukan. Penjarangan dengan tujuan akhir berupa tegakan yang komposisinya terdiri dari pohon dominan dapat diterapkan penjarangan bawah dengan tingkat kekerasan lemah (Pretzsch 2009), yaitu

Tabel 7. Jumlah pohon tinggal harapan tiap hektar berdasarkan model perkembangan rata-rata lebar tajuk pohon dominan

Table 7. Number of expected remaining trees per hectare based on crown width model of dominant trees

Umur (tahun)	Lebar tajuk – CW(m)	Jumlah pohon tinggal harapan(N/Ha)	
		Segiempat ($10000/(CW^2)$)	Segienam ($10000/(0,866x(CW^2))$)
6	4,27	548	633
7	4,52	490	566
8	4,71	451	520
9	4,87	422	488
10	4,99	401	463
11	5,10	384	444
12	5,19	371	428
13	5,27	360	415
14	5,34	351	405
15	5,40	343	396

mengurangi pohon non dominan dan meninggalkan seluruh pohon dominan dengan memperhatikan jarak antar individu pohon dominan agar pertumbuhan lateral maupun apikal mencapai produksi kayu batang yang tinggi dengan kualitas yang tinggi pula.

Kesimpulan

Model Gompertz lolos validasi dan layak digunakan untuk memprediksi rata-rata lebar tajuk pohon dominan jati asal KBK pada tegakan berkualitas baik umur 6 tahun sampai 15 tahun di KPH Ngawi. Bentuk persamaan model rata-rata lebar tajuk (CW) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$CW = 6,585 \times e^{-0,705 \times e^{-0,091 \times \text{umur}}}$$

Dengan prediktor tunggal berupa umur tegakan, model dapat menggambarkan 79% variasi rata-rata lebar tajuk pohon dominan. Ukuran lebar tajuk dapat digunakan untuk menentukan jumlah pohon tinggal harapan per hektar sesuai dengan skema jarak antar pohon, segiempat atau segienam. Jumlah pohon tinggal digunakan untuk evaluasi jumlah pohon tinggal aktual pada umur yang bersesuaian. Jika dijumpai jumlah pohon tinggal aktual lebih banyak dari jumlah pohon tinggal harapan, maka tegakan jati asal KBK berkualitas baik pada umur evaluasi tersebut dapat dilakukan penjarangan.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Kehutanan UGM yang telah memberi stimulan dana. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Perum Perhutani Divisi Regional Jawa Timur yang telah memberi ijin. Kepada Administratur dan jajaran KPH Ngawi disampaikan terima kasih dan penghargaan atas dukungan dan fasilitasi selama periode pengukuran di lapangan. Terima kasih dan apresiasi kami sampaikan kepada para *reviewers* yang telah memberikan masukan berharga sehingga naskah menjadi lebih baik.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2012. Tujuh Puluh Persen Jati Perhutani Diganti Jati Plus. <http://perumperhutani.com/2012/04/70-jati-perhutani-akan-diganti-jati-plus/> (diakses Agustus 2016).
- Bechtold WA. 2003. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand grown trees in the Eastern United States. *Southern Journal of Applied Forestry* 27(4):269-278.
- Bermejo I, Isabel C, San MA. 2004. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 189:97-100.
- Budiadi, Widiyatno, Ishii H. 2017. Response of clonal teak plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 29(1):44-53.
- Burkhardt EH, Tomé M. 2012. Modeling forest trees and stands. Hlm. 457. Springer, Dordrecht Heidelberg.
- Campoe OC, Stape JL, Nouvellon Y, Laclau JP, Bauerle WL, Binkley D, Le Maire G. 2013. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management* 288:14-20.
- Cavalli JP, Finger CAG. 2016. Modelling of upper crown exposed to light of *Cedrela fissilis* (Vell.) open-grown trees by a non-destructive method. *Forestry* 8:1-6.
- Condés S, Sterba H. 2005. Derivation of compatible crown width equations for some important tree species of Spain. *Forest Ecology and Management* 217(2-3):203-218.
- Diamantopoulou MJ, Milios E. 2010. Modelling total volume of dominant pine trees in reforestation via multivariate analysis and artificial neural network models. *Biosystems Engineering* 105(3):306-315.
- Dong C, Wu B, Wang C, Guo Y, Han Y. 2016. Study on crown profile models for Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) in Fujian Province and its visualization simulation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(3):302-313.
- Eby W, Oyamakin S, Chuku S. 2017. A new nonlinear model applied to height-DBH relationship in *Gmelina arborea*. *Forest Ecology and Management* 397:139-149.
- Fu L, Sun H, Sharma RP, Lei Y, Zhang H, Tang S. 2013. Nonlinear mixed-effects crown width models for

- individual trees of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) in South-Central China. *Forest Ecology and Management* **302**:210–220.
- Fu L, Sharma RP, Wang G, Tang S. 2017. Modelling a system of nonlinear additive crown width models applying seemingly unrelated regression for Prince Rupprecht larch in northern China. *Forest Ecology and Management* **386**:71–80.
- Fu L, Sharma RP, Hao K, Tang S. 2017. A generalized interregional nonlinear mixed-effects crown width model for Prince Rupprecht larch in northern China. *Forest Ecology and Management* **389**:364–373.
- Goodman RC, Philips OL, Baker TR. 2014. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecological Applications* **24**(4):680–698.
- Hidayati F, Fajrin IT, Ridho MR, Nugroho WD, Marsoem SN, Na'iem M. 2016. Sifat fisika dan mekanika kayu jati unggul “Mega” dan kayu jati konvensional yang ditanam di Hutan Pendidikan Wanagama, Gunung Kidul, Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **10**(2):98–107.
- Mawardi P. 2012. Kaya dari Investasi Jati Barokah. PT Agro Media Pustaka, Jakarta.
- Na'iem M. 2000. Early performance of clonal tests of teak. Hlm. 271–275 dalam Hardiyanto EB, editor. *Proceedings of Third Regional Seminar on Teak. Potential and opportunities in marketing and trade of plantation teak: Challenge for the new millenium*. Fakultas Kehutanan UGM.
- Meng SX, Leiffers VJ, Huang S. 2007. Modelling crown volume of Lodgepole Pine based upon uniform stress theory. *Forest Ecology and Management* **251**(3):174–181.
- Pandey D, Brown C. 2000. Teak: A global review. *Unasylva* **51**(201):3–13.
- Pretzsch H. 2009. *Forest dynamics, growth and yield*. Hlm. 664. From measurement to model. Springer.
- Pretzsch H, Biber P, Uhl E, Dahlhausen J, Rötzer T, Caldentey J, Koike T, Con T, Chavanne A, Seifert T, Toit B, Farnden C, Pauleit S. 2015. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening* **14**(3):466–479.
- Rahmadwiati R, Sadono R, Supriyatno N. 2016. Preliminary stand table for average dominant trees of Jati Plus Perhutani in Saradan, Madiun, and Ngawi Forest Districts. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* **22**(1):57–64.
- Sadono R. 2015. Crown shape development of Perhutani's Teak Plus from clonal seed orchards in Madiun, Saradan, and Ngawi Forest District, East Java, Indonesia. *Advances in Environmental Biology* **9**(18):212–221.
- Sadono R, Soepridjadi D, Herningtyas W, Rachmadwiati R. 2016. Growing space requirement, diameter and height growth of two generative teak clones in Perhutani-the Indonesia state forest enterprise. *Advances in Environmental Biology* **10**(4):239–259.
- Sharma RP, Vacek Z, Vacek S. 2016. Individual tree crown width models for Norway spruce and European beech in Czech Republic. *Forest Ecology and Management* **366**:208–220.
- Sharma RP, Bilek L, Vacek Z, Vacek S. 2017. Modelling crown width-diameter relationship for Scots pine in the central Europe. *Trees* **31**(6):1875–1889.
- Spurr SH. 1952. *Forest inventory*. Hlm. 476. Ronald Press Co.
- Zarnoch SJ, Bechtold WA, Stolte KW. 2004. Using crown condition variables as indicators of forest health. *Canadian Journal of Forest Research* **34**:1057–1070.
- Zuhaidi YA. 2013. Crown diameter prediction model for plantation crown *Neolamarckia cadamba*. *Journal of Tropical Forest Science* **25**(4):446–453.